

第56次日本南極地域観測・外国共同観測「リビングストーン島
バイヤーズ半島部でのスペイン共同湖沼観測」報告工藤 栄^{1,2*}・田邊優貴子^{1,2}Report on field research of the Spanish Antarctic Campaign 2014/15: a cooperative
international research project with the 56th Japanese Antarctic Research ExpeditionSakae Kudoh^{1,2*} and Yukiko Tanabe^{1,2}

(2015年4月1日受付; 2015年5月22日受理)

Abstract: A study on the limnological and ecological characteristics of maritime Antarctic lakes on Byers Peninsula, Livingstone Island, South Shetland Islands, West Antarctica, was conducted by the Spanish Antarctic Research Campaign during the 2014/15 season, in cooperation with the research program of the 56th Japanese Antarctic Research Expedition. Limnological surveys of three hillside lakes and three lagoons near beaches were conducted under conditions of heavy snow cover. Soils and biological samples in the catchment areas of the lakes and lagoons were also collected and analyzed. The hillside lakes were covered by thick ice and snow, which maintained winter water conditions in the lakes, such as irreversible stratification, oxygen depletion of bottom water, very weak underwater light conditions, etc., even in mid-January, although swimming zooplankton were abundant. Water samples were also collected in coastal lagoons and streams, an environment in which birds and marine mammals transport materials through the aquatic system.

要旨: 第56次日本南極地域観測・外国共同観測として、海洋性南極に位置するサウスシェトランド諸島リビングストーン島のバイヤーズ半島部に広がる露岩上の湖とその周辺でのスペインとの共同観測に参加した。多雪で丘陵部湖沼群が融解せず表出もしていない状況の中、2015年1月12-25日の野外調査期間において、丘陵部の3湖沼ならびに海岸部の3潟湖での湖沼観測を実施し、その周辺集水域から物質循環研究のための土壌・生物試料の採集を行った。丘陵部湖沼内には海洋性南極湖沼の特徴である動物プランクトン群集が認められ、また、夏季においてまだ逆成層構造をとり、湖水循環が生じずに底層水で酸素欠乏状態となっている現象を捉えた。海鳥類・大型哺乳類の繁殖活動の影響を強く受けていると考えられる潟湖およびその周辺河川での水質測定と試料採集も実施した。

¹ 情報・システム研究機構国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

² 総合研究大学院大学複合科学研究科極域科学専攻. Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Science, SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies), Midori-cho 10-3, Tachikawa, Tokyo 190-8518.

* Corresponding author. E-mail: skudoh@nipr.ac.jp

1. はじめに

このスペインとの外国共同観測は、2012年に国際学会参加のために来日したマドリード自由大学の Antonio Quesada 教授と筆者らとの間で研究議論したことがきっかけとなって実現したものである。スペインの南極観測基地（ファンカルロスI世基地）のあるサウスシェトランド諸島の一つ、リビングストーン島の露岩域が広がるバイヤーズ半島（図1）は、海洋

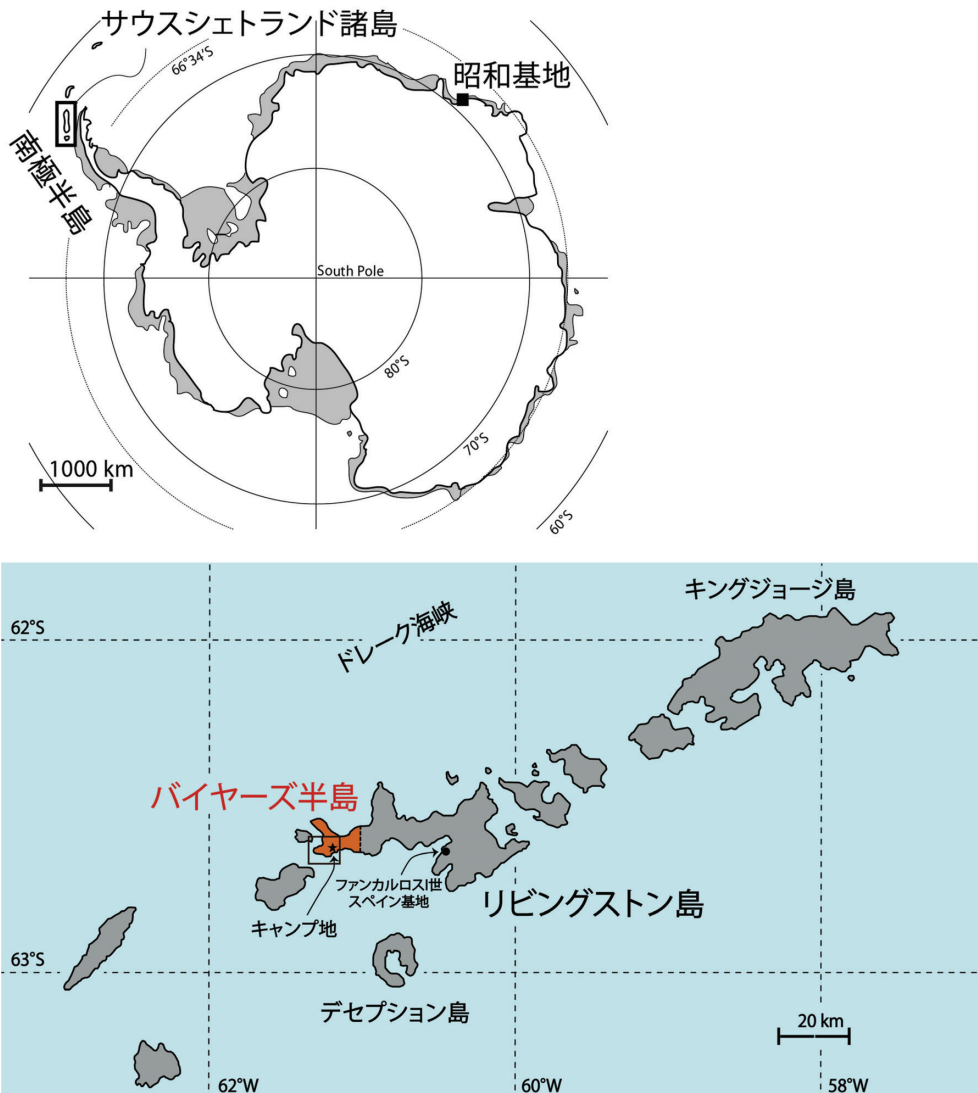


図 1 リビングストーン島バイヤーズ半島の位置、バイヤーズ半島における調査エリア（四角で囲まれた部分）

Fig. 1. Location of Byers Peninsula on Livingston Island, South Shetland Islands, maritime Antarctica. Square in the bottom figure indicates research area.

性南極で湖沼が最も多いエリアである。当時、我々は南極地域観測第 VIII 期 6 か年計画後半において一般研究観測「南極露岩域の物質循環と生物応答からみた生態系遷移の観測」の中心課題として、現在の後水期に形成された露岩域湖沼の物質循環特性と生物遷移現象との関係について、網羅的な現場観測によって明らかにすることを目指していた。そのために、昭和基地周辺の宗谷海岸に広がる湖沼群での物質循環特性把握を狙い、第 55 次夏隊において集中観測を計画し実施してきた。リビングストーン島バイヤーズ半島にある湖沼群の成立年代は、氷河後退後の露出や湖沼成立の時間的履歴から約 1 万年前以降とされており (Toro *et al.*, 2013)、宗谷海岸露岩域湖沼群とほぼ同じである。しかし、海洋性南極に位置するためか、昭和基地周辺には生息しない水棲昆虫類を含む動物群集が湖沼中に生息しており、生態系としての多様化が進んでいることもこれまでの研究で報じられている (Camacho *et al.*, 2012; Toro *et al.*, 2007)。海洋性南極と東南極それぞれの露岩上にある湖沼群の特性を比較することによって、湖沼生態系の成立やその後の発達に関する原理的な知見が得られることを期待し、バイヤーズ半島での共同観測に向けた話を進めた。

2013/14 年の観測シーズン (第 55 次夏) では、スペイン極地委員会からバイヤーズ半島国際キャンプ地での観測キャンペーンの実施体制が整わないとの連絡を 2013 年の夏に受けた。その後年が明けた 2014 年 1 月、2014/15 年の観測シーズン (第 56 次夏) での共同観測体制がとれる見込みとの連絡を受け、以降、観測計画・日程・物資輸送方法などの詳細をスペイン極地委員会と調整し、日本国内での必要な事前申請や身体検査などを経て、第 56 次日本南極地域観測・外国共同観測として参加する準備を整えた。

2. 行動計画と調査地の実情

リビングストーン島バイヤーズ半島部は海洋性南極を代表する生物分布と多様性に富む科学的価値の高い場所として、南極特別保護区 (Antarctic Specially Protected Area No. 126) に指定されている露岩域の一つである (環境省ホームページ参照: https://www.env.go.jp/nature/nankyoku/kankyohogo/database/jyouyaku/aspa/aspa_pdf/126.pdf)。このエリアでの科学研究活動は 1970 年代より多数の科学論文として発表されており、先述のホームページ上でも紹介されている。国際極年の間、陸上生態系、淡水生態系、沿岸生態系の国際南極参照サイトが設置され (Qesada *et al.*, 2009)、それぞれの生態系の基本データとして永久凍土層の性質、地形学、植生範囲、淡水湖沼の多様性と機能、海洋哺乳類と鳥類の多様性、微生物学、沿岸地域の無脊椎動物の多様性研究が実施された。バイヤーズ半島には 60 以上の湖沼、淡水プール、さまざまな河川などが存在し、それらはサウスシェトランド諸島を含む南極半島エリアにおいて人間活動の干渉を受けていない最大規模の湖沼研究サイトとなっている。ここでの研究は海洋性南極湖沼を代表するものとして、生態系の特徴や生物多様性、湖沼堆積物から捉えた環境変動に関する研究などが紹介されている (Qesada *et al.*, 2009; Toro *et al.*, 2007)。

バイヤーズ半島は1966年に特別保護区として指定されて以来、基本的には専ら科学活動を行う地域として人間活動が制限されているエリアである。エリア内での科学調査活動やサンプリングなどに際しては南極条約締結国が発行する活動許可証が必要であり、現地でのフィールドワークを計画する際にはスペインが管理している同エリアのサウス浜に設けられた国際フィールドキャンプを利用し(図2)、人間活動の影響に敏感だとされる当地の自然環境への負荷を極力減じるように努めなければならない(Tejedo *et al.*, 2009)。締結国はこの地区での活動を行う他国との連絡を取り、環境に対する影響を最小にするため協力することが推奨されている。一時期に滞在する人数を12人以下に抑えるなど、締結国の活動によって発生する累積環境影響が、どの季節においても微量で一次的なものである必要がある。そこで我々は、ここでの豊富な観測実績を持つスペインが2014/15年シーズンに国際キャンプ地を開設する期間に、共同湖沼観測を実施することとした。

観測実施期間は、例年ならば湖水の融解消失期である1月を中心に1カ月程度として、物資輸送や派遣人員の現地入りスケジュールを調整した。観測物資はスペイン・ファンカルロスI世基地への人員・物資輸送を行うスペインの南極観測船RV Hespérides(エスペリデス)で輸送することとなった。そのため、我々の観測物資はスペイン、もしくは途中寄港地であるアルゼンチンの南端、ウシュアイアで搭載できるように準備を進めた。最終的には12月

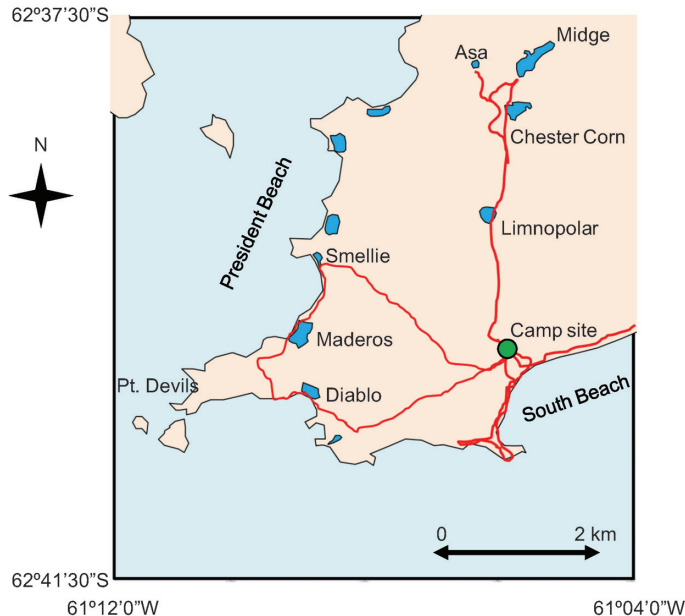


図2 バイヤーズ半島における調査エリアと主要なルート、観測実施湖沼。国際フィールドキャンプは丸印でCamp siteとして表示。

Fig. 2. Research area, main routes, and lakes on Byers Peninsula. The circle indicates the international campsite for field research.

下旬のRV Hespérides のウシュアリア出港にあわせて、日本から11月中旬に発送した。ウシュアリアへの観測物資輸送に際して、現在、直接日本から現地への空輸便を扱っている航空会社がないため、一旦、アルゼンチンの首都、ブエノスアイレスへ空輸した後に海路でウシュアリアへ転送する必要があった。

人員の国際フィールドキャンプへの移動に関しては、ウシュアリアからRV Hespéridesへ乗船して観測物資と同時に現地入りする、もしくはチリ南端の町プンタアレナスとキングジョージ島間に季節的に運航される民間もしくはチリ空軍航空機を利用し、キングジョージ島からキャンプ地へは船もしくはヘリコプターで移動するという方法があった。観測期間を確保しながら全体の旅行行程を短縮すべく、1月6日に日本を出発、9日にプンタアレナスからチリの民間航空会社であるDAP航空が運航するキングジョージ島行きの旅客機を利用し、そこからRV Hespéridesとゾディアックに乗りついで国際フィールドキャンプ地入りする行程を計画した。今年度のフィールドキャンプ撤収は1月25日前後で、チリ海軍艦Aguiles（アキレス）に調査チーム全員が収容されて復路に就く予定であった。Aguilesがキングジョージ島へ立ち寄った際に調査チームは下船し、1月30日頃にキングジョージ島から空路にてプンタアレナスへ戻るという当初計画が示されていた。悪天候による現地停滞等の可能性を考慮し、我々の帰国は2月4日プンタアレナス発、2月6日成田着というスケジュールを計画した（表1）。

当初計画に従ってプンタアレナス入りし、1月9日午前5時にプンタアレナス空港からDAP航空の100名程度の客席を備えたジェット旅客機（BAe146-200）に搭乗し、2時間後にキングジョージ島のチリ空軍フレイ基地の滑走路に到着した（図3）。滑走路わきの誘導路には今季はじめにハードランディング事故で損傷したブラジル空軍のC-130機が片翼を接地させた状態で係留されていた（図4）。ここから船を乗り継いで国際キャンプ地へ向かう予定であったが、プンタアレナス到着時にスペイン側から連絡があり、キングジョージ島からはチリ空軍のヘリコプターを利用して観測現地入りすることに変更されていた。しかし、キングジョージ島に到着後、低い雲が垂れこめる天候状況のためその後のヘリコプター運航がキャンセルされ、ヘリコプター運航が可能となった1月12日まで、チリの観測基地であるエスクデロ基地に滞在して天候回復を待った（図5）。

同基地はチリの南極研究所（INACH, Chilean Antarctic Institute）が運営している基地の一つで、主屋棟には生物学関係の二つの実験室のほか、ラウンジ・会議室・食堂・隊長室・食糧倉庫のほか、複数の宿泊設備が整えられていた。別棟にも二段ベッドを備えた宿泊設備があり、それぞれの宿泊設備にはトイレ・シャワーが常設されていた。基地を拠点として活動する世界各国の研究者・チリの設営スタッフのほか、我々同様、ここを経由して他の調査地へ向かう研究者で合計50名を越える人員が滞在していた。この基地は文明圏と南極を空路あるいは海路で結ぶ「ハブ」の役割を果たしており、キングジョージ島内はもちろん、周辺

表 1 リビングストーン島バイヤーズ半島観測実施計画と実際
 Table 1. Spanish Antarctic Campaign 2014/15 on Byers Peninsula, Livingston Island.

計画日程	実施状況	行動・作業
2014年12月上旬	11月17日	日本から観測物資発送 (ブエノスアイレス経由ウシュアイア)
12月下旬	12月28日	RV Hespérides プンタアレナス出港
2015年1月上旬	1月7日	バイヤーズ半島国際キャンプ地開設
1月10日	1月6日	日本出国
1月11日	1月7日	プンタアレナス到着
1月13日	1月9日	プンタアレナス出発, キングジョージ島到着
1月13日	1月12日	国際キャンプ地着, 共同観測開始
1月13-24日	1月12-24日	野外観測期間
1月25日	1月25-26日	国際キャンプ地閉鎖, 物資撤収
1月30日	1月30日	海路でキングジョージ島着, 空路でプンタアレナスへ移動
2月4日	2月4日	プンタアレナス出発
2月6日	2月6日	日本帰国
5月下旬	5月下旬～ 6月上旬予定	スペインから観測物資と採集試料の日本への発送



図 3 プンタアレナス—キングジョージ島間を結ぶ DAP 航空のジェット旅客機 (BAe146-200)
 Fig. 3. Jet airplane (BAe 146-200) of DAP Airline, used for transportation between Punta Arenas and King George Island.



図 4 2014/15 シーズン開始時にハードランディング事故で飛行場脇誘導路に残置されたブラジル空軍機 (C-130)

Fig. 4. A Brazilian air force plane (C-130) beside the runway on King George Island.



図 5 チリ・エスクデロ基地外観

Fig. 5. Escudero Station, a Chilean research base.

のサウスシェトランド諸島にある各国の観測基地へ向かう、あるいは観測を終えて本国へ引き返す研究者チームで活発に利用されていた。この基地での滞在中、古生物学者であり、我々がこれから向かうリビングストーン島バイヤーズ半島での野外観測経験を持つ基地長の Marcelo Leppe 博士 (INACH 所属) から、バイヤーズ半島の詳細な地形図の提供や行動上の注意点など貴重な情報の提供を受けることができた。また、1月11日には中国長城基地への訪問見学・交流会が設けられ、これに参加することができた。

12日朝には天候が回復し、朝食後、エスクデロ基地に隣接したチリ空軍のフレイ基地からヘリコプターに搭乗してリビングストーン島バイヤーズ半島の国際キャンプ地へ向かった。高い山と氷河を抱いたリビングストーン島の北側沖合を通過し、東側にある氷河で覆われていない平坦な半島部を北側から南側へ横切るように通過しながらヘリコプターは目的地である国際フィールドキャンプ場脇へと降りた。飛行時間は50分ほどであった。バイヤーズ半島通過の際に上空から目視確認できたのは、海岸線に沿って水面が見えたいくつかの潟湖のほかは、一面雪で覆われた比較的なだらかに起伏した地形から頂上をのぞかせている岩峰のみであった。観測する計画であった丘陵地に多数あるとされる湖沼群はどこにも目視確認できなかった。国際フィールドキャンプは半島部の南側、サウス浜の海岸線から数百mほど内陸側に位置しており、9張りの就寝用ドームテントと、1張りのトイレ用スコットテント、二つの赤い「メロンハット」が真っ白な平原に設営されていたことで、かろうじてそこがキャンプ地であると認識できた(図6)。海岸線から数十m離れた砂丘上でようやく雪解けが始まったばかりのようで、そこには何種類かの蘚類とナンキョクカワノリとともに、海洋性南極にしか棲息しないナンキョクコムススキ群落が緑葉を茂らせ一面に群生していた(図7)。

3. 湖沼と水域周辺の調査

我々よりも1週間前にRV Hespéridesに乗り込んでキャンプ地入りしていたスペインチームは、2名のフィールドアシスタント、2名の永久凍土の研究チーム、3名の湖沼微生物研究チーム(湖沼堆積物とウイルス研究がメインテーマ)の7名(うち女性1名)で構成されていた(図8)。2名の研究者(女性研究者1名と男性研究者1名)を除き、その他のメンバー



図6 バイヤーズ半島国際キャンプ地

Fig. 6. International campsite on Byers Peninsula.



図 7 サウス浜砂丘上にマウンド状に群生するナンキョクコメスキ群落
 Fig. 7. Mound-like colonies of *Deschampsia antarctica* on a sand dune on South Beach, Byers Peninsula.



図 8 2014/15 シーズンのバイヤーズ半島野外調査メンバー
 Fig. 8. Members of the in the research campaign on Byers Peninsula.

はこの地で複数回の観測経験を有していた。

二つのメロンハットのうち、一つは観測・実験作業用のサイエンスハットとして使用されており、すでにろ過装置などの試料処理装置が設置されていた。我々が日本から送付した観測物資はそのサイエンスハットの一角に運び込まれており、到着初日にこれらの梱包を解いて、早速、動作チェックや測定機器の設置などの観測準備に取り掛かった。もう一つのメロンハットは食事など生活関係に使用されており、プロパンガスコンロを備えた炊事場のほか、

最大9名で利用できる規模のテーブルとイスが備えられていた。このほか無線設備が設置されて、野外活動中のメンバーやファンカルロスI世基地との連絡に使用されていた。電力はホンダ製のガソリン発電機3kVA程度(220V仕様)で必要に応じて二つのメロンハットに供給され、無線設備や実験装置の駆動・充電等をまかなっていた。これら必要最低限の設備と燃料は非常食糧とともにスペインによって維持管理されているものであった。

国際フィールドキャンプでの活動にあたり、キャンプ地入り直後に廃棄物処理や日常生活の諸注意、行動に際しての無線機の携帯とその取り扱い、日々の日課などの取り決め事項などのインストラクションをフィールドアシスタントから受け、また、今季の多雪状況での野外活動に必須であった、スノーシューとストックなどの装備品、GPS用の地図などを貸与してもらった。これら貸与された物と周囲の雪の状況を参考に、実質2週間程度の期間で実施可能な野外観測行動計画を立てた。丘陵地帯に存在する三つ以上の淡水湖沼での湖沼水質・環境観測と生物試料採集を実施すること、沿岸部に露出している複数の潟湖での環境の観測と試料採集を行うこと、またバイヤーズ半島で特に顕著とされている「季節的河川」での水質調査試料や、周辺生物群集の試料を複数採集することとした。これらは「湖沼環境および生物活動とその物質循環の特性」という観点で、我々が昭和基地周辺で研究を続けている事象と比較しながら、南極湖沼生態系の発達過程や特性を捉えようとするものであった(表2)。

しかしながら、このエリアでの活動が初めてである我々にとって、目的地までのルート設定や今年の雪で覆われた状況でどの程度の観測活動ができるか、現地入り当初は不明な部分が多々あった。そこで、国際キャンプ地入り初日の午後に通りの観測準備を終えた後、まず、雪で覆われていない海岸部を中心に行動し、キャンプ地周辺の地形習熟ならびに今季の状況で可能な観測行動範囲、このエリアの生態系の特徴を把握することに努めた。

キャンプ地から雪のない海岸砂丘上までは融け始めた雪で覆われた原野が300mほど続いており、ところどころ、スノーシューなしではひざ上まで脚がもぐりこんでしまう部分が多数でき始めていた。雪解けの急速な進行で、雪の下には水たまりや流れが出現している箇所もあった。海岸砂丘の雪解け末端は氷雪藻類の大増殖によって緑や赤の彩雪現象が至るところに確認された。キャンプ地の目の前に広がるサウス浜は東西に10km以上続く遠浅の砂浜海岸で、数百m沖合には干潮時にわずかに露呈する暗礁がいくつも見られた。海岸には膨大な量の海藻類が打ち上げられ、その狭間に多数のミナミゾウアザラシが群れ集っていた(図9)。ミナミゾウアザラシだけでなく、ヒョウアザラシ、ナンキョクオットセイ、ウェッデルアザラシといった大型海棲哺乳類も少数ながら混在し、このほかオオフルマカモメ、ナンキョクアジサシ、ウ、カモメ類、ナンキョクオオトウゾクカモメなど飛翔性の海鳥類、海と営巣地との間を行き来するジェンツーペンギン、ヒゲペンギンも多数群れていた。

雪解けで露出した海岸砂丘上にはアザラシやクジラの骨がいたるところに散在しており、その周辺には複数のコケ類のほかナンキョクコメスキがマウンド状に繁茂していた。また、

表 2 バイヤーズ半島での野外観測行動一覧
Table 2. Field work on Byers Peninsula.

期日	天気概況	観測行動など
1月12日	曇り時々晴れ	バイヤーズ半島国際キャンプ場着, 観測機材準備
1月13日	曇り(霧)	観測ルート設定, 湖沼状況確認(氷厚 1.4 m: Limnopolar Lake)
1月14日	曇り	湖沼観測(Limnopolar Lake), 彩雪試料・海岸部植生試料採集, 試料処理
1月15日	曇, 強風のち曇 時々晴れ	湖氷観測孔掘削(3湖沼で実施: Midge Lake, Chester Cone Lake, Limnopolar Lake)
1月16日	曇・雨のち曇り	湖沼観測(Midge Lake, Chester Cone Lake, Limnopolar Lake), 湖水試料採集と処理
1月17日	晴れ	湖底堆積物採集, 水中撮影:(Midge Lake, Chester Cone Lake, Limnopolar Lake)
1月18日	曇りのち時々雪	海岸部湖沼調査(プレジデント浜方面3湖沼), 試料採集
1月19日	曇りのち雨	採集試料処理, 光合成測定
1月20日	強風(20 m/s程度) のち曇り	午前: 待機, 午後: プレジデント浜方面流域調査水質分析試料採集, 土壌試料採集
1月21日	雨(曇)のち曇り	サウス浜流域調査, 水質分析試料採集
1月22日	雨	観測機材整理, 採集試料梱包, サウス浜生物探索
1月23日	曇りのち雨	撤収作業, 物資梱包
1月24日	晴れのち曇り	物資搬送, テント撤収, 撤収待機, テント再設営
1月25日	霧のち曇り	人員のみゾディアックで揚収(チリ海軍艦, Aquiles)
1月26日	曇り	物資回収搬送(バイヤーズ半島から Aquilesへ)
1月27-29日	曇り(霧)	Aquiles 滞在
1月30日	曇り	キングジョージ島上陸(チリ・エスクデロ基地), プンタアレナスへ

地表はところどころ黒いクラスト状のシアノバクテリア群落や緑色の葉状体となって地表を覆うナンキョクカワノリの群落で覆われていた。露出した岩には *Usnea* 属の樹枝状地衣類が繁茂していた。

海岸部に打ち上げられた大型海藻類は風によって、海岸付近の雪原はもちろん、半島中央部の丘の雪原上にも多数飛散しているのが認められた。また、雪原上にはアザラシや鳥類の移動に伴うトレースが海岸砂丘上の平坦地だけではなく、半島中央部の丘陵の雪上にも多数あった。これらから、海洋で活動する海鳥類・哺乳類などの大型動物や海藻類が陸地奥部ま



図 9 海岸に打ち上げられた海藻上のミナミゾウアザラシ
Fig. 9. Elephant seals (*Mirounga leonine*) on seaweed washed up onto the beach.

での栄養物質の移送や供給源となっていることが推察された。

1月13日には半島中央部にある湖沼群までのルート設定と湖沼の状況視察を行った。キャンプ地から2kmほど離れた湖(Limnopolar Lake)まではすでにルート設定がなされ、要所には赤旗が設置されていた。この湖までは赤旗と先行者のトレース伝いにたどり着くことができたのだが、さらにその先2.5kmほどの間に複数の湖沼が存在し、この半島部で最大水深が記録されている湖沼もある。それら湖沼での観測を行うという今回の計画をスペインチームに伝え、1名のフィールドアシスタントの協力を得て、その先へのルート設定を行った。スノーシューを装着しなければまったく歩くことができないほどの軟雪で覆われた高低差100mほどの雪原を、GPSと地図、ところどころ見え隠れする岩峰などを頼りに、調査対象湖沼を探し歩いた。

ルート伝いにたどり着いたLimnopolar Lake湖岸付近や湖水は完全に雪で覆われて、湖岸と湖面の境界すらも目視認識することはできなかった。GPSに表示された地形図から湖の中央付近と想定される平坦な場所には、先行したスペイン微生物研究チームが雪をのけて湖水に穴をあけた場所があった。水深およそ5mの湖盆中央部にあけた穴周辺には30-50cmの積雪があり、雪と氷の狭間には水が数十cmの厚さで染み出していた。湖水は1mを越える厚さだった。

Limnopolar Lakeから先は、典型的な羊背地形の岩峰(Chester Cone)を目印に、雪で覆われた丘をChester Cone Lake, Midge Lake(仮称)を通過するようにルート工作を行った。この日の行動で各自のハンディーGPSにウエイポイントやルートの軌跡を記録してルートナビゲーション設定を終えた。

翌14日、手始めに Limnopolar Lake 中央部に開けられた穴から湖底の様子を小型ビデオカメラ (GoPro HERO4, GoPro 社) を使って水中撮影し、多項目水質計と分光放射計で水質と入射光の観測を行った。水深5m 弱の湖底には水棲コケがパッチ状に群生し、水中を泳ぐ動物プランクトンの姿が水中カメラ映像で捉えられた。厚い氷とその上の雪の影響で、湖中の光環境は極度に暗く、また、水温鉛直構造からは1月半ばにして湖表層付近が0℃付近を保っており、水深が増すほどやや温度が上昇するという逆成層構造をとっていたことが判明した。

1月15日には、再びフィールドアシスタント1名の協力を得て12Vバッテリーと電動モーター式ドリル、ハンドドリルを橇に搭載し、Midge Lake, Chester Cone Lake, Limnopolar Lake に搬送して観測孔を穿った (図10)。この3湖沼は半島内部の丘陵地帯にある貧栄養淡水湖とされ (Toro *et al.*, 2007), Midge Lake は半島部で最大の水深 (8.5 m) をもち、水棲昆虫 (ユスリカ) の生育が確認されている湖, Chester Cone Lake は比較的浅いが (5.0 m), 湖水下に周年湖水を保ち動植物相が豊かとされている湖, Limnopolar Lake はバイヤーズ半島丘陵部湖沼群で最大集水域をもつ湖という特徴をもつ。これら湖沼において1月16日から3日間を要して、水質環境測定と生物および湖水試料採集を実施した。水中映像観測ではすべての湖沼内に水棲コケの繁茂、ナンキョクホウネンエビやカイアシ類などの動物プランクトンが群遊していることを確認した。また、Limnopolar Lake 同様、Midge Lake と Chester Cone Lake においてもなお、湖水は逆成層構造をとって鉛直循環していない状況を保っており、特に Midge Lake では8.5 m の湖底直上 50 cm 程度までに黒い貧酸素水塊の存在が水質観測と水中映像記録から認められた (図11)。過去、このエリアの湖沼環境を調べた報告では、1月には湖面を覆う氷が消失して湖水の全層鉛直循環が生じる、いわゆる極地の淡水湖沼の



図 10 Chester Cone 湖氷上での観測孔掘削
Fig. 10. Drilling operations on Chester Cone Lake.

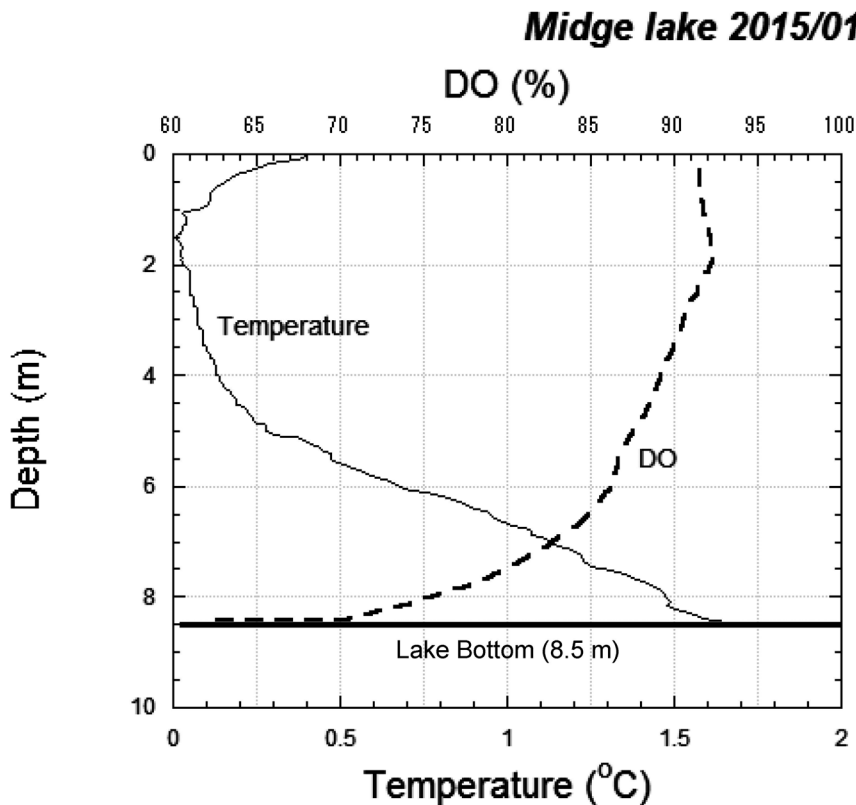


図 11 Midge Lake での水温・酸素濃度鉛直プロファイル

Fig. 11. Vertical profiles of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) and percent oxygen saturation (%) in the water column of Midge Lake.

典型的な混合パターンである年 1 循環 (Cold monomictic) をとるとされており (Rochera *et al.*, 2010), この地で過去 15 年間にわたって 7 回の観測経験をもつスペイン湖沼微生物チームの Manuel Toro 博士 (スペイン水界研究センター所属) も, 1 月半ばにして湖水が解けずに鉛直循環が停止したままである状況は初めてだと語っていた。

今年, このままの状況が続くとすれば夏季に湖水循環が生じないまま平均気温が氷点以下となる 2-3 月の秋季を迎え, 再び湖水が成長することになる。夏季に湖氷上を覆っている雪が日射を遮って湖水の温度上昇を妨げることで湖氷融解を減速させ, 湖氷消失がなければ風による湖水混合も生じないという結果を生む。また, 地上の日射が強まる夏季に湖氷上の積雪のため光が湖中や湖底に届かないことは, 光合成による酸素発生を著しく阻害することにもなる。これら複数の要因が重なっている今年の夏季の状況ならば, 湖底に存在した貧酸素水塊の混合が生じないまま, この先無光下で湖底に堆積している有機物分解が進行し続けることになる。その結果, 湖底付近で発達した貧酸素水塊によって好気環境を好む動物プラ

ンクトンやベントス群集に対して winter kill と呼ばれる現象を引き起こす可能性がある。この時に採集した水棲コケとベントス藻類・シアノバクテリア試料を用いて測定した光合成活性のシグナルはほぼゼロであった。これはこの観測時点で湖底の光合成生物群集の酸素発生をとまなう基礎生産活動がほとんど生じていないことを意味する。夏季に光が入射せずに冷たいままで鉛直循環しない湖水環境が、今後の生態系へ与える強い影響が危惧される (cf. Velázquez *et al.*, 2011; Villaescusa *et al.*, 2010)。

1月18日からは海岸線に沿って露出している潟湖を対象とした観測、ならびにそれら周辺の流域観測を開始した。サウス浜ならびに半島西側のプレジデント浜には水深1mに満たない浅い潟湖が夏期間に出現するようで、これまでもいくつかの調査実績がある。周辺には大型哺乳類や海鳥類の繁殖活動場所があって、海岸部潟湖はこれら活動の影響を強く受けていると報じられている (Villaescusa *et al.*, 2010, 2013)。これら海岸部の浅い潟湖の成因は砂丘で海と隔離されたものであることが地形図上から読み取ることができる。いずれも夏季には背後の丘陵部からの雪解け水が流入して涵養されている。また、潟への流れ込みにはこの地に特有の水棲昆虫が生息する場所もあると報告されている (Richard *et al.*, 1994; Toro *et al.*, 2007)。これらも考慮しながら、先に調査した丘陵部にある淡水湖沼と海岸部潟湖の物質循環の違いや特徴を捉えるべく調査を展開した (図12)。

国際キャンプ場から丘を越えてプレジデント浜中央部から南端のデビルズ岬 (スペイン語表記: Diablo) にある海岸潟湖群周辺を目指してルートをつくった。途中、顕著な季節流域の水のサンプリングと潟湖での水質観測を1月18日と20日に実施した。デビルズ岬につながる丘には1万羽を超えるこの島で最大規模のジェンツーペンギン営巣地があり、これに混



図 12 プレジデント浜の浅い潟湖

Fig. 12. Shallow lagoon (South Smellie Lake) near President Beach.

じって数十羽のヒゲペンギンも同エリアに営巣していた。ペンギンの排泄物でピンク色にグアノ化した土壌が覆う丘周辺の斜面には、維管束植物であるナンキョクミドリナデシコが直径5-10cm程度の円形の群落をつくり、コケやナンキョクコメススキ群落に混じって生育していた(図13)。ペンギンルッカリーの丘斜面の残雪はペンギンの頻繁な移動行動で幾筋も轍状に融け(図14)、氷雪藻類の繁殖で強く色づいていた(図15)。融雪水は海岸部で浅い潟湖に流れ込んでおり、その池には多数のオオフルマカモメやナンキョクオオトウゾクカモメが群れ泳いでいた。これら潟湖を含む集水域で水質の測定と水試料採集、土壌や生物試料



図 13 デビルズ岬周辺の丘に生育するナンキョクミドリナデシコ群落

Fig. 13. A round colony of *Colobanthus quitensis* on the hill near Devils Point, Diablo.



図 14 プレジデント浜と丘の上のルッカリーを往来するジェンツーペンギン

Fig. 14. *Pygoscelis antarctica* observed between President Beach and their rookery on a nearby hill.



図 15 ルッカリーとプレジデント浜の間の残雪上に発達した氷雪藻類

Fig. 15. Snow algae blooming on a snowfield between President Beach and the penguin rookery on the hill.

採集を実施した。

また、1月21日と22日にはサウス浜に沿って季節的に出現する複数の小河川流域において水質分析用試料を採集し、これをキャンプ地のサイエンスハットで処理して冷蔵および冷凍し、持ち帰り試料とした。1月23日以降はキャンプ地の撤収に備えて、物資の整理・梱包作業を行い、24日には物資搬送が行われる予定の海岸へこれらを移動した。

4. 人員・物資撤収

国際キャンプ地からの人員と物資の撤収には、チリ海軍艦 Aquiles での撤収が計画されていた。この艦はヘリデッキを備え中型のヘリコプターを搭載しており、撤収日が近づくと、無線通信での撤収の段取りに関する相談がなされた。物資と人員の撤収はスクアと呼ばれる上陸艇とゾディアック・ボートで行われるか、あるいは艦搭載のヘリコプターで実施されると通告された。どちらの方法で艦へ収容されるかは、当日の天候にも左右されることなので、直前にならないと判断できないとのことだった。これら無線通信に関してはすべてスペイン語でのやり取りであったため、我々には詳細はまったく不明であった。毎日のキャンプ地での夕食時に交わされる情報交換では、撤収が当初の計画である1月25日よりも早まって、23日夜になる可能性、あるいは24日早朝になる可能性なども語られることがあった。しかし艦のトラブルなどもあったようで、そのたびごとに撤収計画が変更され、結局、撤収は25日正午頃まで実施されなかった。

1月25日、風も弱く穏やかで晴れ渡った朝を迎え、キャンプ地のすべてのテントをたたんで午前8時にはサウス浜海岸で推定5t以上の物資とともに、ピックアップに来る艦の

表 3 調査湖沼および試料採集流域一覧
 Table 3. Locations of research sites.

Site	Latitude	Longitude	Observations
Midge Lake	62°37.836'S	61°05.745'W	Vertical profile Optical measurement Underwater video Water sampling Sediment sampling
Chester Cone Lake	62°38.154'S	61°05.878'W	Vertical profile Optical measurement Underwater video Water sampling Sediment sampling
Limnopolar Lake	62°38.895'S	61°06.303'W	Vertical profile Optical measurement Underwater video Water sampling Sediment sampling
South Smellie Lake (lagoon)	62°39.255'S	61°09.346'W	Water quality Water sampling
Madelos Lake (lagoon)	62°40.170'S	61°09.471'W	Water quality Water sampling
Diablo Lake (lagoon)	62°40.162'S	61°08.929'W	Water quality Water sampling
Stream 1	62°40.237'S	61°07.572'W	Water sampling
Stream 2	62°40.282'S	61°08.343'W	Water sampling
Stream 3	62°39.889'S	61°06.072'W	Water sampling
Stream 5	62°39.902'S	61°05.450'W	Water sampling
Stream 6	62°39.835'S	61°04.968'W	Water sampling
Stream 7	62°39.672'S	61°04.048'W	Water sampling

到着を待った。この日、現地は満潮時刻が午前 10 時頃と午後 8 時頃となっており、この時刻を過ぎると潮位が低下して沖合の暗礁が露出してくるため、上陸艇の接岸が困難になると思われた。また、朝方の天候はヘリの運航を妨げる要素がなかったので、ヘリコプターでのスリング輸送もありうるものとしてスリング用の梱包集積準備を完了しておいた。

しかし、時間とともに海上と島周辺には霧が立ち込め始め、一時は数百 m 先が見通せないほどの状況となった。午前 10 時を回り、艦からの無線連絡で、ゾディアックと上陸艇が

サウス浜の撤収場所目指して航行を開始したと伝えられたのだが、沖合に目を凝らして見るものの、一向に船影らしきものは目視できなかった。その状況で2時間ほど経過した正午頃に再び無線連絡でこちらを目指したゾディアックと上陸艇が霧のためこちらの待つ上陸地点を確認できずにいることが伝えられた。こちらとの会合地点よりも東側の海岸付近でロストポジションしていたようで、双方から目視できる目印などを無線で相互確認しながら、およそ30分後によく沖合にその船影を確認した。

時刻は下げ潮に向かっていたので、先行してきたゾディアックは着岸できたものの、物資搭載用の上陸艇はサウス浜の暗礁帯に阻まれて着岸できなかった。このため、人員のみゾディアックに乗り込んで、本艦へ撤収されることになった(図16)。ゾディアックから本艦へは、縄梯子にとりついて乗艦するというものであった。バイヤーズ半島野外調査チーム全員は艦に無事収容されたものの、海岸に残置された観測機材や貴重な冷蔵・冷凍試料の今後の処遇を危惧した。当初、人員が艦に収容された当日夜の満潮時刻にあわせて回収に向かうと伝えられ、物資回収のチャンスを待ったが、その日は天候悪化により回収は中止された。

回収オペレーションが発動されたのは翌日の26日夕刻となった。満潮時刻を狙い観測チーム全員が耐水服を着用し、ゾディアックと上陸艇でバイヤーズ半島へ向かうことになった(図17)。上陸艇が接岸した場所が物資集積場所から100mほど離れた場所となってしまう。この間、ヘリコプターのスリング用に梱包した重量のある荷物を引きずって上陸艇へ運び上げる必要があった。日本から持ち込んだ観測機材などは露天での保管はあり得ることとして梱包したものの、海上で波しぶきが当たってしまうほどを想定して梱包しているわけではなかった。急ぎよ、厚手のビニルシートでくるみこんで梱包する必要があった。この作業



図 16 チリ海軍艦 Aquiles (灰色の軍艦) への人員撤収

Fig. 16. Transportation of research members to the gray Chilean Navy ship, Aquiles.



図 17 耐水服を着こんで物資回収を実施したバイヤーズ半島野外調査メンバー
Fig. 17. Members of the research campaign (wearing immersion suits) recovering research cargo left on South Beach, Byers Peninsula.

は2時間ほどを費やし完了した。穏やかな海況ではあったが、荷物は波しぶきを浴び、本艦へと移送された。

チリ海軍艦 Aquiles に運び上げられた観測物資ならびに採集試料は、ファンカルロス I 世基地の今シーズンの観測終了時にスペイン観測船 RV Hespérides によって一旦スペインへ輸送され、その後日本へ空輸する予定である。バイヤーズ半島で、今シーズンの活動をともにしたスペイン人研究者らとは30日まで Aquiles 艦上で過ごし、その後キングジョージ島のチリのエスクデロ基地に上陸し、プンタアレナスまでは往路と同じ DAP 航空会社のジェット旅客機で移動した。プンタアレナスではエスクデロ基地長を務め帰国した Marcelo 博士の案内のもと、INACH 研究所訪問を行ってチリの南極観測事情と研究成果をうかがう機会を得た。今シーズンのチリの南極観測プロジェクトは30数件あり、その8-9割が生物学関連のものであること、大陸内部への観測網の展開のため大陸部に基地設立を展開させていることなどが紹介されたとともに、博士の研究テーマである化石による古環境研究について情熱的な説明をいただいた。

5. おわりに

例年では夏季にすべての湖沼で湖水が表出するとされているバイヤーズ半島において、近年まれな多雪の状況での観測実施となった。調査できた湖沼に棲息する水棲コケ (*Drepanocladus longifolius*) は昭和基地周辺の露岩丘陵部の貧栄養湖群で認められるものと

別種で、丘陵部の貧栄養湖沼群の湖底に密集した群落をつくっていた。湖底のベントス藻類・シアノバクテリアを含む集水域のマット状の堆積物に関しては、層構造など昭和基地周辺と類似する部分もあるものの (cf. Fernández-Valiente *et al.*, 2007), 湖底での堆積厚や構造に大きな相違が実感できた。また、昭和基地周辺には分布が確認されていない動物プランクトンが湖水中に多数群遊するような生態系が発達していることなど、今後の我々の南極湖沼での研究を展開するうえで重要となる実態を感じ取ることができた。また、渡り鳥を含む大型動物の活動や周辺の海での大型海藻類の生産活動が多量な栄養物質移送や有機物供給源となっているという観点で、海洋と陸上生態系間の物質循環の連鎖の重要性を感じることができた。丘陵部湖沼群の水質はほとんど栄養塩を含まない貧栄養状態を保ちつつも、融雪期には集水域からの流入で栄養供給がなされるため、微生物群集の活動が活発化するという報告もある (Villaescusa *et al.*, 2013)。しかしながら、今季は氷で覆われたまま融雪が遅延しているため集水域からの栄養供給が制限されることに加え、湖水中への光エネルギー入射が積雪のため極度に制限されることで、微生物活動や光合成生物による生物生産活動の双方ともに極度に少ない夏となっているのではないかと推察された。

水中撮影および湖底堆積物を採集してみた印象では、湖底にマット状に発達する光合成生物群集は宗谷海岸湖沼ほど発達していなかった (cf. Kudoh and Tanabe, 2014)。にもかかわらず湖水や流域への微小な動物群集が侵入・定着していることは、生態系構造の発達や多様性の創出には、単に生物生産量の違いによるのではなく、他のエリアからの侵入機会の差によるところが大きいという可能性を想起させるものであった。

今後、採集した試料を入手して分析および解析を進め、これまでに昭和基地周辺湖沼で得てきた試料分析結果と比較検討しながら、最終氷期以降に氷床から解放され出現した南極湖沼での生態系成立と発達に関する研究を展開する予定である。

謝 辞

本観測を実施するにあたり、第56次日本南極地域観測・外国共同観測での旅費の補助をいただいた。また、科学研究費助成事業・基盤研究B「南極湖沼生態系からつなげる生命現象と理論」(代表者:田邊優貴子, 課題番号26310213), ならびに総合研究大学院大学・学融合研究事業・学融合共同研究「極域湖沼から探る生態系のメジャートランジション」(代表者:田邊優貴子)からは観測物資調達や輸送経費の補助をいただいて観測を実現することができた。バイヤーズ半島露岩域湖沼での共同観測の立案にはスペイン・マドリッド自由大学教授 Antonio Quesada 博士, ならびに今年度の観測の調整にはスペイン南極観測設営担当 Unidad de Tecnología Marina に所属する Miguel A. Ojeda 氏の強力な支援なしには実現することができなかった。ここに記して感謝する。

文 献

- Camacho, A., Rochera, C., Villaescusa, J.A., Velázquez, D., Toro, M., Rico, E., Fernández-Valiente, E., Justel, A., Bañón, M. and Quesada, A. (2012): Maritime Antarctic lakes as sentinels of climate change. *Int. J. Des. Nat. Ecodyn.*, **7**, 239–250, doi:10.2495/DNE-V7-N3-239-250.
- Fernández-Valiente, E., Camacho, A., Rochera, C., Rico, E., Vincent, W.F. and Quesada, A. (2007): Community structure and physiological characterization of microbial mats in Byers Peninsula, Livingston Island (South Shetland Islands, Antarctica). *FEMS Microbiol. Ecol.*, **59**, 377–385, doi:10.1111/j.1574-6941.2006.00221.x.
- Kudoh, S. and Tanabe, Y. (2014): Limnology and ecology of lakes along the Sôya Coast, East Antarctica. *Adv. Polar Sci.*, **25**, 75–91, doi:10.13679/j.advps.2014.1.00075.
- Quesada, A., Camacho, A., Rochera, C. and Velázquez, D. (2009): Byers Peninsula: A reference site for coastal, terrestrial and limnetic ecosystem studies in maritime Antarctica. *Polar Sci.*, **3**, 181–187, doi:10.1016/j.polar.2009.05.003.
- Richard, K.J., Convey, P. and Block, W. (1994): The terrestrial arthropod fauna of the Byers Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands. *Polar Biol.*, **14**, 371–379, doi:10.1007/BF00240257.
- Rochera, C., Justel, A., Fernández-Valiente, E., Bañón, M., Rico, E., Toro, M., Camacho, A. and Quesada, A. (2010): Interannual meteorological variability and its effects on a lake from maritime Antarctica. *Polar Biol.*, **33**, 1615–1628, doi:10.1007/s00300-010-0879-8.
- Tejedo, P., Justel, A., Benayas, J., Rico, E., Convey, P. and Quesada, A. (2009): Soil trampling in an Antarctic Specially Protected Area: tools to assess levels of human impact. *Antarct. Sci.* **21**, 229–236, doi:10.1017/S0954102009001795.
- Toro, M., Camacho, A., Rochera, C., Rico, E., Bañón, M., Fernández-Valiente, E., Marco, E., Justel, A., Avendaño, M.C., Ariosa, Y., Vincent, W.F. and Quesada, A. (2007): Limnological characteristics of the freshwater ecosystems of Byers Peninsula, Livingston Island, in maritime Antarctica. *Polar Biol.*, **30**, 635–649, doi:10.1007/s00300-006-0223-5.
- Toro, M., Granados, I., Pla, S., Giralt, S., Antoniadis, D., Galán, L., Martínez Cortizas, A., Lim, H.S. and Appleby, P.G. (2013): Chronostratigraphy of the sedimentary record of Limnopolar Lake, Byers Peninsula, Livingston Island, Antarctica. *Antarct. Sci.*, **25**, 198–212, doi:10.1017/S0954102012000788.
- Velázquez, D., Rochera, C., Camacho, A. and Quesada, A. (2011): Temperature effects on carbon and nitrogen metabolism in some Maritime Antarctic freshwater phototrophic communities. *Polar Biol.*, **34**, 1045–1055, doi:10.1007/s00300-011-0964-7.
- Villaescusa, J.A., Casamayor, E.O., Rochera, C., Velázquez, D., Chicote, Á., Quesada, A. and Camacho, A. (2010): A close link between bacterial community composition and environmental heterogeneity in maritime Antarctic lakes. *Int. Microbiol.*, **13**, 67–77, doi:10.2436/20.1501.01.112.
- Villaescusa, J.A., Rochera, C., Velázquez, D., Rico, E., Quesada, A. and Camacho, A. (2013): Bacterioplankton summer dynamics in a maritime Antarctic lake. *Limnetica*, **32**, 253–268.